

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ТЕОРІЙ ГІДРОДИНАМІЧНОГО ДИСПЕРГУВАННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ РОЗВИТКУ

Самойчук К. О., докт. техн. наук, проф.
Ялпачик В. Ф., докт. техн. наук, проф.

*Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного*

Одним з найбільш енерговитратних процесів переважної більшості технологічних схем виробництва молока та молочних продуктів є гомогенізація. Питоме енергоспоживання найбільш поширених – клапанних гомогенізаторів – сягає 7–8 кВт·год/т [1, 2]. Тому вирішення проблеми високих енерговитрат процесу гомогенізації в сучасних реаліях зростання цін на енергоносії шляхом підвищення ефективності диспергування молочного жиру відрізняється високою актуальністю.

Диспергування складається з двох етапів: деформації жирової кульки, її руйнування. Після диспергування знов утворена жирова кулька повинна бути стабілізована. В протилежному випадку може відбутися процес її коалесценції [3, 4].

Процес деформації та руйнування жирових кульок молока важко піддається експериментальному вивченню. Нестача необхідних експериментальних даних призвела до появи багатьох гіпотез механізму диспергування жирової фази молока [5-8]. Розповсюдженими є гіпотези гідродинамічного диспергування: здування мікрочасток з поверхні жирової кульки та обтікання жирової кульки потоком плазми.

Гіпотеза подрібнення жирової краплі здуванням з її поверхні мікрочасток була висунута Орешіною М.М. [9] і потім розвинута Паляничкою Н.А. [10]. Жирова кулька розглядається подібно краплі рідини, що подрібнюється у швидкісному повітряному потоці. Механізм дроблення базується на розпаді краплі в залежності від різниці швидкостей жирової кульки та оточуючої її плазми (швидкості ковзання), що визначає критерій Вебера.

Математична модель дроблення жирових часток гідравлічними збуреннями базується на гіпотезі, що дисперсійне середовище захоплює в рух жирову частку і з урахуванням цього формується відносний рух середовища і частки. Виділена істотна роль прискорення жирової кульки [9].

Досліди з деформації та руйнування крапель рідини при обтіканні потоком повітря, проведені в роботах [10], дозволили отримати фотографії руйнування та виділити декілька характеристик розпаду крапель в залежності від критерію Вебера. Орешіній М.М. вдалося отримати фотографії руйнування краплі олії в потоці води імпульсними впливами, що моделює характеристики жирової кульки в потоці плазми [9]. За твердженнями автора, розміри жирових кульок молока після обробки в розробленому імпульсному гомогенізаторі менші, ніж при обробці в клапанних гомогенізаторах і, в середньому, становлять 0,5 мкм.

Жирова кулька має складну будову: жирові кульки молока вкриті тонкою білково-ліпідною оболонкою, під якою розташований шар тугоплавких жирів. Така пружна та водночас еластична оболонка створює додаткові труднощі дробленню жирової кульки. Крім того, після її руйнування на поверхні нових більш дрібних жирових кульок знову утворюються оболонки, які перешкоджають процесу їх агломерації, що також потребує часу. Якщо нехтувати складною внутрішньою структурою жирової кульки, то погляд на процес її дроблення буде надто спрощеним та не буде відповідати дійсності. З огляду на це крапля олії в дослідах М.Н. Орешіної не може вважатися адекватною моделлю жирової кульки молока.

Мала різниця між густиною плазми та жирової кульки створює значну залученість руху сусідніх шарів молока. Тому безпосереднє перенесення механізмів подрібнення рідини в потоці повітря, де різниця густини відрізняється майже на 3 порядки, на подрібнення жирової кульки в плазмі молока викликає сумніви. Незважаючи на це, високий ступінь диспергування жирової фази молока в імпульсному гомогенізаторі дозволяє зробити висновки, що механізм диспергування за рахунок швидкості ковзання жирової кульки є перспективним для подальших досліджень.

Для створення максимальної швидкості ковзання жирової кульки запропонована теорія гомогенізації при зіткненні струменів молока [12]. В зоні зіткнення струменів жирова кулька, за рахунок сил інерції, рухається прямолінійно, в той час як швидкість оточуючої плазми змінює напрямок руху спочатку на 90° , а потім і на 180° . Деякий час жирова кулька рухається у потоці зустрічного струменя, де створюється максимальна швидкість ковзання жирової кульки, що призводить до її руйнування у відповідності з критерієм Вебера, модифікованим для випадку протитечійно-струминної гомогенізації.

При обробці в протитечійно-струминному гомогенізаторі розміри жирових кульок порівняні або менші за їх розміри при клапанній гомогенізації, однак візуальне спостереження процесу диспергування не було отримано.

У результаті проведеного аналізу зрозуміло, що значна кількість гіпотез гомогенізації спричинена труднощами отримання візуальних даних руйнування жирових кульок. Останні дослідження процесу диспергування жирової фази в клапанних гомогенізаторах свідчать про сильне розтягування жирових кульок в клапанній щілині перед руйнуванням та підтверджують справедливість турбулентної в'язкісної теорії, за якою руйнування відбувається в результаті дестабілізації Кельвіна–Гельмгольца та Рэлея–Тейлора. Такі механізми руйнування крапель викликаються швидкістю та прискоренням потоку емульсії. Кавітація інтенсифікує процес клапанної гомогенізації, але її вплив другорядний.

Високий ступінь дисперсності жирової фази молока досягається при використанні пристроїв, побудованих на гіпотезах здування поверхні мікрочасток та різниці швидкості в зоні зіткнення струменів. Спільність між цими гіпотезами в створенні умов для виникнення максимальної різниці швидкості між фазами молока.

Незважаючи на суттєві відмінності розглянутих вище гіпотез, спільними для них є створення гідродинамічних умов в зоні руйнування, які сприяють підвищенню відносної швидкості жирової кульки. Для теорій здування мікрочасток – руху емульсії з високим прискоренням і просковзування жирової кульки відносно плазми за рахунок сил інерції, для зіткнення струменів – інерціальних сил при різкій зміні руху плазми навколо жирової кульки.

Таким чином встановлені переважні гідродинамічні показники, які визначають процес руйнування жирової кульки молока: відносна швидкість дисперсної та дисперсійної фаз і прискорення руху емульсії. Встановлено, що відносна швидкість дисперсної та дисперсійної фаз виникає при русі емульсії з прискоренням за рахунок інерціальних сил. Тому для тих типів гомогенізаторів, для яких розрахунок відносної швидкості викликає суттєві труднощі, величина прискорення руху потоку емульсії є більш універсальним і зручним для використання при визначенні ступеня дисперсності.

Література:

1. Нужин Е.В. Характеристические числа процесса гомогенизации молока // Вісник харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Харків, 2005. Вип. 38. С. 63–68.

2. Фиалкова Е.А. Гомогенизация. Новый взгляд: монография–справочник. Спб.: ГИОРД, 2006. 392с.

3. Бойко В.С., Самойчук К.О., Тарасенко В.Г., Загорко Н.П., Циб В.Г. Процеси і апарати харчових виробництв. Гідромеханічні процеси. Підручник. – Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2019. 212 с.

4. Загорко Н.П., Петриченко С.В. Молоко як сировина для виробництва молочних продуктів: електрон. навч. посібн. 2019 р. URL: <http://ophv.tsatu.edu.ua/category/moloko-yak-sirovina-dlya-virobnictva-molochnix-produktiv/> (дата звернення: 03.11.2021).

5. Загорко Н.П., Петриченко С.В. Загальні технологічні процеси та обладнання для виробництва молочної продукції: електрон. навч. посібн. 2019 р. URL: <http://ophv.tsatu.edu.ua/category/zagalni-texnologichni-procesi-ta-obladnannya-dlya-virobnictva-molochnoyi-produkciyi/> (дата звернення: 03.11.2021).

6. Самойчук К.О. Характеристика використання гомогенізації емульсій в харчовій і переробній промисловості / Новації в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв: міжнародна науково-практична інтернет-конференція, 24 листопада 2020 р. : [матеріали конференції] / під заг. ред. В.М. Кюрчева. – Мелітополь : ТДАТУ, 2020. С. 65-67. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/ophv/wp-content/uploads/sites/13/21.samojchuk-k.o.harakterystyka-vykorystannja-homohenizaciyi-emulsij-v-harchovij-i-pererobnij-promyslovosti.pdf>

7. Самойчук К.О., Лебідь М.Р. Аналіз конструкції клапанного гомогенізатора / Новації в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв: міжнародна науково-практична інтернет-конференція, 24 листопада 2020 р. : [матеріали конференції] / під заг. ред. В.М. Кюрчева. – Мелітополь : ТДАТУ, 2020. С. 51-52. URL :

<http://www.tsatu.edu.ua/ophv/wp-content/uploads/sites/13/16.samojchuk-k.o.-lebid-m.r.analiz-konstrukciyi-klapannoho-homohenizatora.pdf>

8. Самойчук К.О., Ковальов О.О. Підвищення енергоефективності гомогенізації при використанні струминно-щілинного диспергатора молока / Новації в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв: міжнародна науково-практична інтернет-конференція, 24 листопада 2020 р. : [матеріали конференції] / під заг. ред. В.М. Кюрчева. – Мелітополь : ТДАТУ, 2020. С. 46-48. URL : <http://www.tsatu.edu.ua/ophv/wp-content/uploads/sites/13/14.pdf>

9. Орешина М.Н. Импульсное диспергирование многокомпонентных пищевых систем и его аппаратная реализация: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.12. М., 2010. 50 с

10. Паляничка Н.О., Верхованцева В.О. Економічна ефективність від використання імпульсного гомогенізатора молока/ / Новації в технології та обладнанні готельно-ресторанних, харчових і переробних виробництв: міжнародна науково-практична інтернет-конференція, 24 листопада 2020 р. : [матеріали конференції] / під заг. ред. В.М. Кюрчева. – Мелітополь : ТДАТУ, 2020. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/ophv/wp-content/uploads/sites/13/18.paljanychka-n.o.-verholanceva-v.o.-ekonomichna-efektyvnist-vid-vykorystannja-impulsnoho-homohenizatora-moloka.pdf>

11. Stone H.A Dynamics of drop deformation and breakup in viscous fluids // Annual Review of Fluid Mechanics. 1994. V.26. P. 65–102.

12. Самойчук, К.О. Розвиток наукових основ гідродинамічного диспергування молочних емульсій: дисертація ... д-ра техн. наук, спец.: 05.18.12 – процеси та обладнання харчових, мікробіологічних та фармацевтичних виробництв / К.О. Самойчук; наук. консультант Г.В. Дейниченко; Таврійський держ. агротехнолог. ун-т, Харк. держ. ун-т харч. та торгівлі. – Мелітополь-Харків: ТДАУ-ХДУХТ, 2018. – 391 с.